

На правах рукописи

ДЕГТЯРЕВА Ольга Федоровна

**СИЛОВОЕ И ТЕПЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИГЛ И
ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБНЫХ
ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2011

Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Научный руководитель -

доктор технических наук, профессор
Логинов Юрий Николаевич, УрФУ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Готлиб Борис Михайлович, УрГУПС

кандидат технических наук,
Разинкин Александр Викторович,
ООО «СОЛОМОН АЛСБЕРГ»

Ведущее предприятие -

ОАО «Корпорация ВСМПО -
АВИСМА», г. Верхняя Салда

Защита состоится «27» мая 2011г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.285.04 в Уральском федеральном университете им первого Президента России Б.Н.Ельцина по адресу: 620002, г.Екатеринбург, К-2, Уральский федеральный университет им первого Президента России Б.Н.Ельцина, ул.Мира, 19, тел. (343) 375-44-37, E-mail: omd@mtf.ustu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им первого Президента России Б.Н.Ельцина».

Автореферат разослан «26» апреля 2011г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.285.04

В.А. ШИЛОВ

1.ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В производстве крупногабаритных труб из алюминиевых сплавов широкое применение нашел способ горячего прессования полых слитков с использованием игл, позволяющий получить бесшовные трубы широкой номенклатуры, в том числе из труднодеформируемых сплавов, не подлежащих обработке другими способами. Качество труб оценивают по точности размеров, структуре, механическим свойствам, качеству поверхности и другим характеристикам в зависимости от назначения. Параметры качества изделий при прессовании зависят от качества исходного слитка, выбранных размеров инструмента, температурно-скоростных условий, условий контактного трения и силового взаимодействия инструмента и деформируемого материала. За формирование характеристик качества внутренней поверхности труб и приповерхностных слоев металла отвечает формообразующий инструмент – игла гидравлического пресса. Температурное поле прессовых игл циклически изменяется в процессе прессования, и это изменение влияет на точность размеров прессованных труб, структуру и механические свойства. Эти обстоятельства приводят к выводу об актуальности работы, направленной на изучение взаимодействия игл и деформируемого материала.

Работа выполнялась в рамках исследований, включенных в следующие научные программы и контракты:

- Федеральная целевая программа «Научные и педагогические кадры инновационной России», государственный контракт от 22 марта 2010 г. № 02.740.11.0537, лот «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области физики конденсированных сред, физического материаловедения», шифр 2010-1.1-121.01;

- Г/б НИРН № 1.2224.07 по заказу Министерства образования и науки РФ на уровне фундаментального научного исследования «Развитие механики обработки металлов давлением с целью создания научных основ прогнозирования физико-механического состояния металла и новых технологических процессовковки, прокатки, прессования и волочения», госрегистрация № 01200704103;

- план мероприятий по совершенствованию технологии на ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (пункт 19 «Разработка мероприятий, направленных на повышение точности, улучшение механических свойств и структуры прессованных труб из алюминиевых сплавов»).

Цель работы. Целью данного исследования является изучение силового и теплового взаимодействия игл и деформируемого материала при прессовании трубных заготовок из алюминиевых сплавов.

Научная новизна результатов, полученных в диссертации, заключается в следующем: установлены закономерности изменения температуры иглы в условиях теплообмена с контейнером пресса при участии воздушной среды конвективным способом; закономерности стадии распрессовки с учетом неравномерного распределения деформаций и изменения температуры иглы в условиях теплообмена со слитком; закономерности влияния тепловых

граничных условий иглы на размеры получаемых изделий, напряженно-деформированное состояние металла и уровень его механических характеристик.

Достоверность полученных результатов базируется на применении в исследованиях основных положений физики и механики деформации сплошных сред, современных программных комплексов (*РАПИД-2D, Excel*), реализующих фундаментальные математические методы (система дифференциальных уравнений теории пластичности и теплопроводности, метод конечных элементов, статистическая обработка данных). Результаты работы подтверждены проведением промышленных экспериментов на реальном промышленном оборудовании.

Практическая ценность. Практическую ценность представляют следующие результаты работы:

- алгоритм оценки влияния тепловых процессов в игле гидравлического пресса на параметры прессования;
- конструирование и изготовление опытной оснастки для измерения в промышленных условиях тепловых процессов в игле гидравлического пресса;
- результаты измерения тепловых полей в игле прессовой установки в реальных производственных условиях;
- разработка на уровне изобретения новой конструкции прессовой иглы, малочувствительной к изменению температуры.

Разработанные положения и полученные результаты диссертации направлены на создание технологических режимов прессования, стабилизирующих условия проведения процесса и обеспечивающих выпуск продукции улучшенного качества.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях: 10-ая научно-практическая конференция «Алюминий Урала – 2005», Краснотурьинск, 2005 г.; VII международная научно-техническая конференция «Пластична деформація металів», Днепропетровск, 2005 г.; II научно-техническая конференция молодых специалистов промышленных предприятий стран СНГ, Каменск-Уральский, 2005 г.; VII и VIII конференции молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ УПИ, Екатеринбург, 2005 г.; международная научно-техническая конференция «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов», Санкт-Петербург, 2005 г.; IX конференция молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ УПИ, Екатеринбург, 2006 г.; международная научно-практическая конференция «Особенности обработки и применения изделий из тяжелых цветных металлов», Ревда, 2006 г.; международная научная школа для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов», Екатеринбург, 2010 г.; 5 международный научно-практический семинар «Уральская школа по обработке металлов давлением им. А.Ф.Головина. Модернизация и инновации в металлургии и машиностроении», Екатеринбург, 2011 г.

Публикации. Материалы, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 15 печатных работах, из них 3 публикации в реферируемых изданиях из перечня ВАК, а также получены 3 патента.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 7 приложений. Работа изложена на 157 страницах машинописного текста, содержит 57 иллюстраций, 13 таблиц, списка литературы из 102 наименований.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПРОБЛЕМ И МЕТОДОВ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕССОВАННЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Данная глава посвящена подробному описанию технологии прессования крупногабаритных труб из алюминиевых сплавов (раздел 1.1). Определены технологические факторы, влияющие на качество прессованной трубной заготовки. В разделе 1.2 выполнено описание научных работ в области теоретического изучения процесса прессования труб из алюминиевых сплавов. Выявлено, что в большей степени исследованы температурные поля деформируемой заготовки в процессе ее выдавливания. Менее освещены вопросы о распределении температуры в инструменте при прессовании, изменении температурного поля инструмента между циклами прессования и о влиянии колебания температуры инструмента от одного цикла прессования к другому на качество трубных заготовок (структуру, механические свойства, геометрические параметры). В разделе 1.3 представлено описание научных работ в области экспериментального изучения процесса прессования труб из алюминиевых сплавов. Установлена необходимость изучения кинематики процесса прессования при различных перепадах температур между прессуемым металлом и инструментом и изыскание рациональных температурных полей. В разделе 1.4 рассмотрены особенности применения метода конечных элементов в теории прессования. В разделе 1.5 изложен метод теоретического определения температурного поля в цилиндрических стержнях при конвективном теплообмене. В разделе 1.6 сформулированы основные задачи исследования.

2. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ ПРЕССОВЫХ ИГЛ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПРЕССОВАНИЯ

В данной части работы игла представлена как часть формообразующего инструмента, от которого зависит большое количество параметров процесса и характеристик получаемого пресс-изделия (рис. 1).

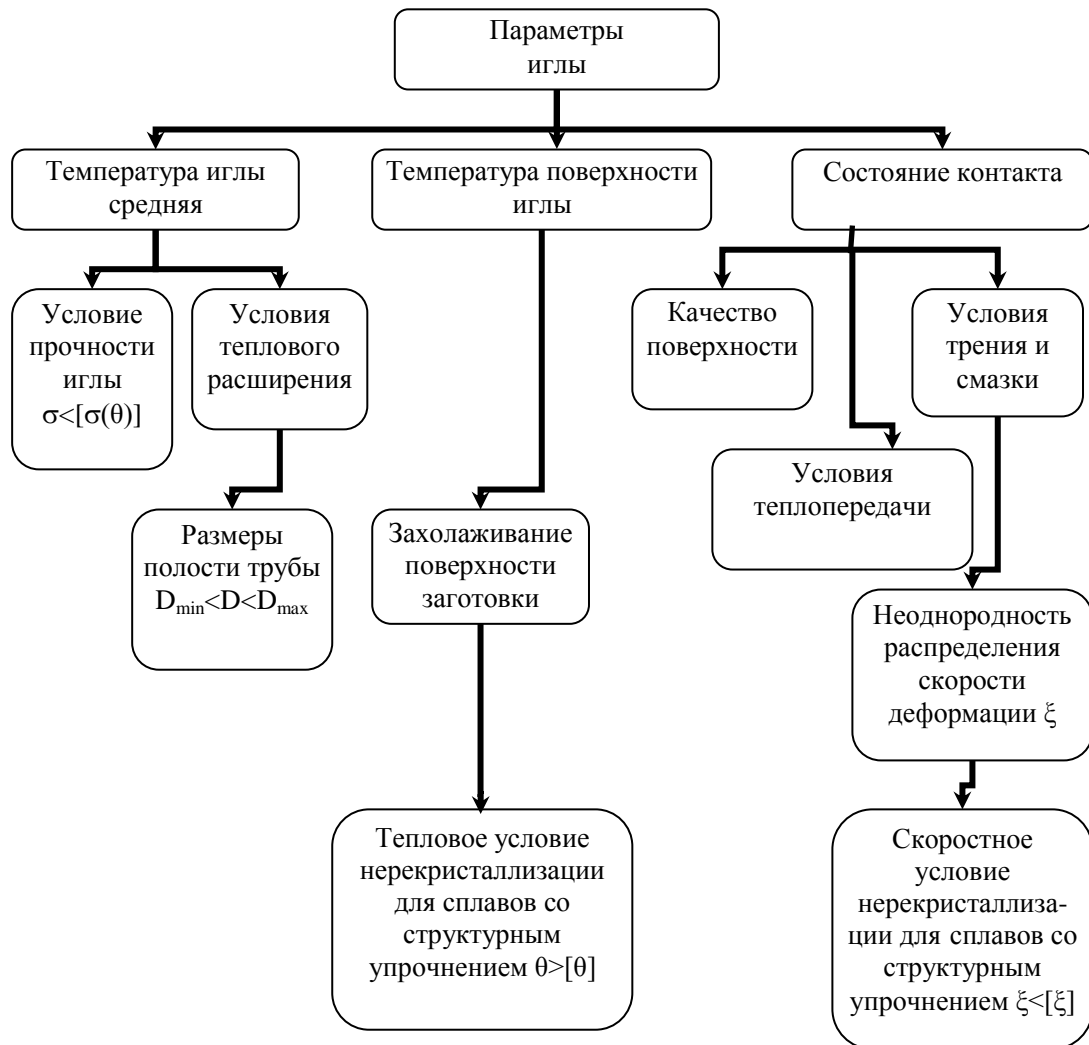


Рис. 1. Схема взаимосвязей состояния прессовой иглы с параметрами прессования

Изображенные на схеме взаимосвязи состояния иглы и параметров прессования будут обсуждены в последующих частях работы, а в параграфах данного раздела рассмотрены следующие вопросы:

- Определение температурного поля прессовой иглы, циклически изменяющегося в процессе прессования.
- Теоретическое определение температурного поля прессовой иглы при конвективном теплообмене.
- Методика расчета температурного поля прессовой иглы при нагреве.
- Методика расчета температурного поля прессовой иглы при естественном охлаждении.
- Определение температурного поля прессовой иглы во время конвективного теплообмена при нагреве от стенок контейнера.
- Измерение температуры иглы во время конвективного теплообмена.

Отмечено, что температура является одним из самых важных параметров процесса прессования алюминиевых изделий. В реальных производственных условиях при прессовании полых изделий температура иглы не остается постоянной (рис.2). Игла прогревается от тепла слитка, причем этот прогрев зависит от размера иглы и от длительности процесса деформации.



Рис. 2. Характер изменения температуры иглы и ее диаметра в функции времени по ходу прессования: t - температура иглы; $D_{и}$ – диаметр иглы; τ - время

С применением реальных граничных условий, характерных для производственных условий прессования, осуществлена постановка задачи нестационарной теплопроводности. Выполнено аналитическое решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности. На основе результатов аналитического решения показано, что нагрев прессовой иглы за счет конвективного обмена от тепла контейнера является медленным, малоэффективным и не приводит к полному выравниванию температур инструмента в реально допустимых временных интервалах. В производственных условиях поставлен промышленный эксперимент по измерению температуры иглы во время конвективного теплообмена. Показано, что результаты эксперимента согласуются с полученными аналитическими решениями. Экспериментально подтвержден вывод о малоэффективности использования конвективного теплообмена для подготовки прессового инструмента к прессованию. Установлено, что результатом недостаточного прогрева иглы на стадии подготовки инструмента являются колебания размеров готового пресс-изделия.

3. ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕССОВОЙ ИГЛЫ И ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА

В данной главе изучены эффекты взаимодействия прессовой иглы и деформируемого материала.

В разделе 3.1 определено температурное поле прессовой иглы во время теплопередачи от деформируемой заготовки. В процессе прессования тепло от деформируемого металла передается поверхностным слоям иглы теплопроводностью через места непосредственного контакта и через среду, заполняющую пространство между выступами шероховатости контактирующих поверхностей. Коэффициент теплопередачи в системе контакта двух металлов зависит от шероховатости поверхности и нормального давления p . Зависимость коэффициента теплопередачи от давления носит характер кривой с насыщением. Этому в большей мере соответствует вид аппроксимирующей формулы в виде логарифмической зависимости вида

$$\alpha_k = a_k + b_k \cdot \ln(p).$$

Для такого типа зависимости темп прироста значений функции замедляется при увеличении значений аргумента.

Методом наименьших квадратов найдены коэффициенты уравнения регрессии $a_k = -1,2656$ и $b_k = 2,7679$.

С учетом влияния слоя смазки, находящейся на поверхности иглы суммарный коэффициент теплопередачи $\alpha_{k\Sigma}$ определяется по формуле, известной из теплотехники

$$\alpha_{k\Sigma} = \frac{1}{(1/\alpha_k) + \delta/\lambda_c},$$

где δ и λ_c - толщина и теплопроводность слоя смазки, твердую основу которой составляет чешуйчатый графит.

С помощью вышеприведенных формул определены коэффициенты теплопередачи при прессовании с учетом влияния слоя смазки на контактной поверхности. Установлено, что коэффициент теплопередачи существенно зависит от изолирующих свойств смазки.

Методом конечных элементов с помощью пакета программ РАПИД-2Д рассчитано температурное поле прессовой иглы во время теплопередачи от деформируемой заготовки.

В разделе 3.2 описано экспериментальное измерение температурного поля иглы во время деформации. Сконструирована, изготовлена и опробована экспериментальная оснастка для измерения температурного поля прессовой иглы в промышленных условиях прессования. Получены опытные данные о распределении температур иглы в промышленных условиях. Распределение температур на поверхности иглы после выдавливания 1/7 части заготовки представлено на рис. 3.

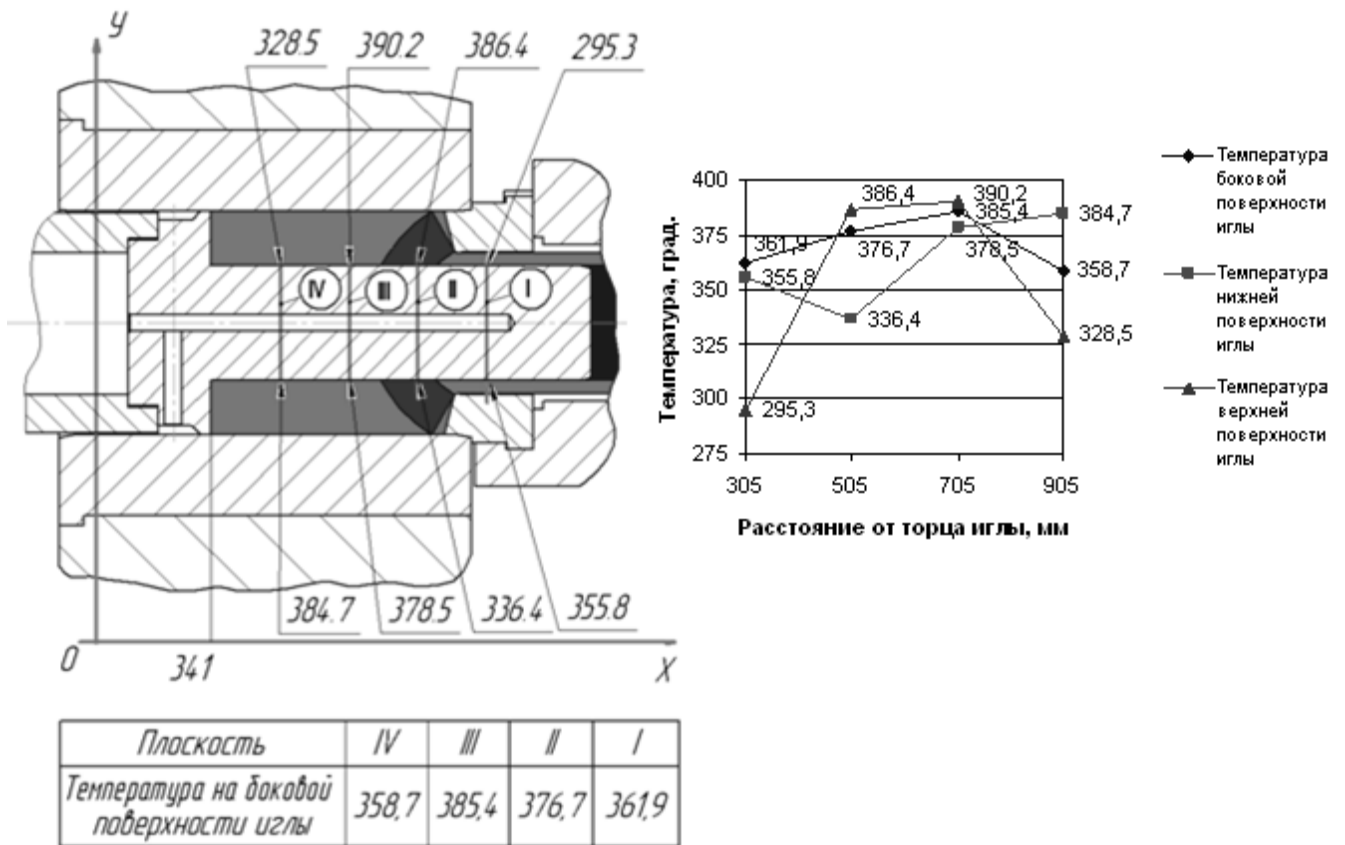


Рис. 3. Схема измерительной оснастки пресса усилием 60 МН и один из вариантов измерения распределения температур ($^{\circ}\text{C}$) на поверхности иглы после выдавливания $1/7$ части заготовки

Выявлено, что характер изменения температуры верхней и нижней поверхностей иглы несимметричен и зависит от условий стадии распрессовки.

Несимметричный прогрев иглы на этом этапе прессования является следствием несимметричности процесса распрессовки. Для проверки этого положения выполнено компьютерное моделирование процесса распрессовки с помощью системы автоматизированного расчета параметров напряженно-деформированного состояния РАПИД-2Д. На рис. 4 показаны стадии заполнения контейнера металлом при несимметричном расположении полой заготовки в контейнере, что обусловлено горизонтальным способом прессования. Методом конечных элементов решена задача распрессовки, в результате чего показано, что стенки полого слитка на этой стадии подвергаются деформациям изгиба, а поверхности могут не являться контактными по отношению к прессовому инструменту, что локально затрудняет теплоотвод.

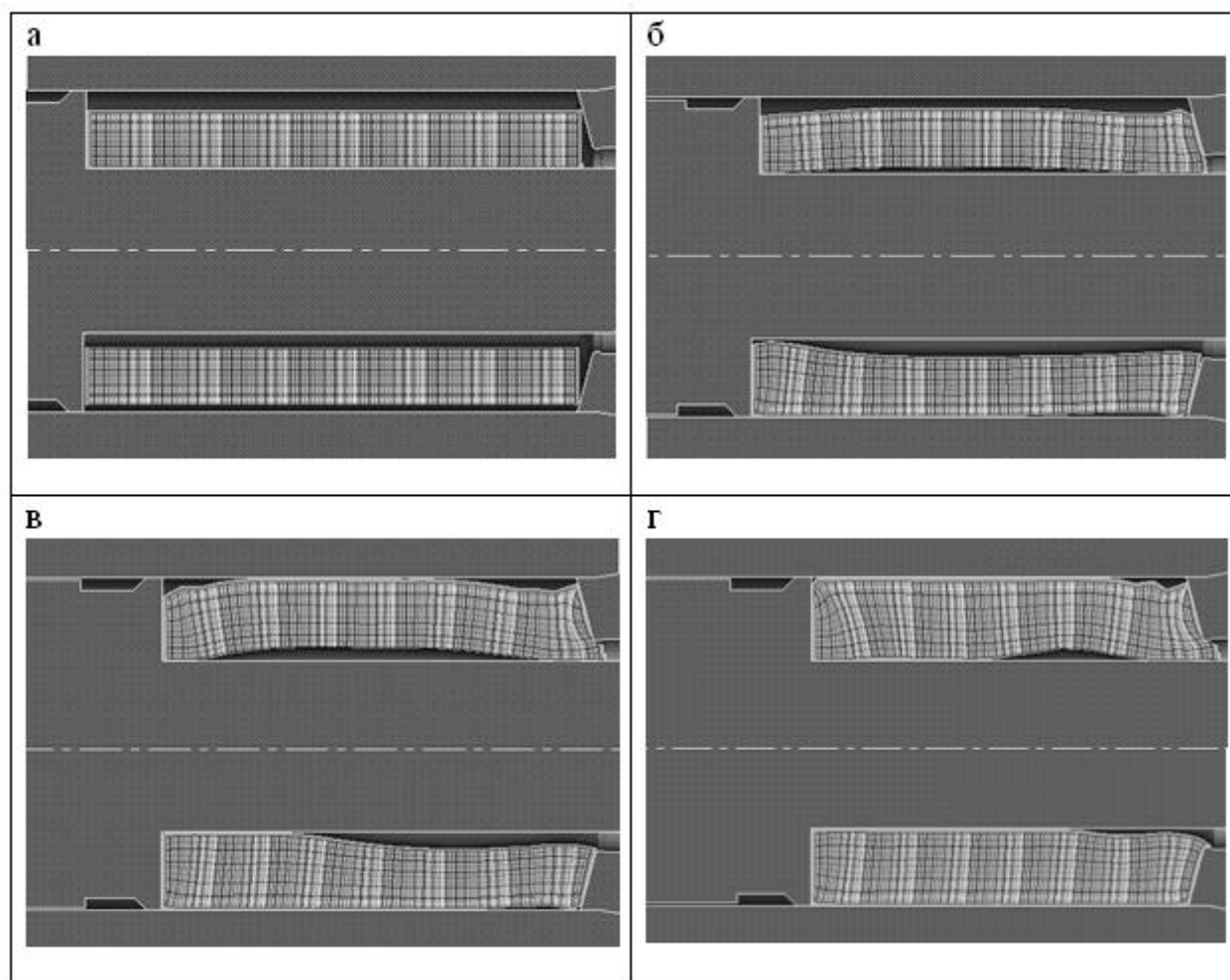


Рис.4 Стадии формоизменения полый заготовки при распрессовке (половина очага деформации) по данным расчета методом конечных элементов с помощью системы «РАПИД-2Д»: а – начальная стадия; б – заполнение зазора у стенки контейнера; в - заполнение зазора у стенки контейнера и частичное заполнение у поверхности иглы; г – выборка зазора у стенки контейнера и образование замкнутой полости со смазкой у поверхности иглы

Установлено, что результатом неравномерного теплоотвода на стадии распрессовки может являться неоднородность теплового поля слитка.

В разделе 3.3 определено температурное поле прессовой иглы при конвективном теплообмене во время выполнения вспомогательных операций, в результате чего установлено относительно малое влияние этого периода времени на изменение температурного поля.

В разделе 3.4 изучено влияние термоупругого изменения размеров иглы на точность размеров прессованной трубы. В результате показано, что колебания размеров внутреннего диаметра трубных заготовок соизмеримы с пределами допусков, задаваемыми нормативными документами на продукцию.

4. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ИГЛЫ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ЗАГОТОВКИ И СВОЙСТВА ПРЕСС-ИЗДЕЛИЙ

Глава посвящена изучению влияния параметров иглы на напряженно-деформированное состояние заготовки и свойства пресс-изделий.

В разделе 4.1 описано напряженное состояние иглы при прессовании трубных заготовок. Как известно, инструмент для прессования металлов работает в чрезвычайно тяжелых условиях. Для некоторых видов прессовой оснастки коэффициенты запаса прочности близки к единице. Поэтому актуальным вопросом является уточнение методик расчета прессового инструмента. Существующие методики расчета игл прессовых установок обладают тем недостатком, что не учитывают реального распределения напряжений, действующих на иглу со стороны деформируемого металла. Кроме того, обычно не учитывается влияние на работоспособность иглы прессовой установки температурных полей, циклически изменяющиеся во времени.

В зоне воздействия деформируемого металла на поверхность иглы возникает сложное напряженное состояние. Его можно представить в виде действия напряжений сжатия $\sigma_{rr}|_{r=D_H/2}$ и напряжений трения $\sigma_{rz}|_{r=D_H/2}$ со стороны металла слитка. Величина этих напряжений переменна и зависит от параметров прессования. Напряжениями сжатия в расчетах иногда пренебрегают, считая, что они действуют ортогонально оси прессования и что они не создают вектор силы, направленной на разрыв иглы. Вместе с тем, величина напряжений сжатия

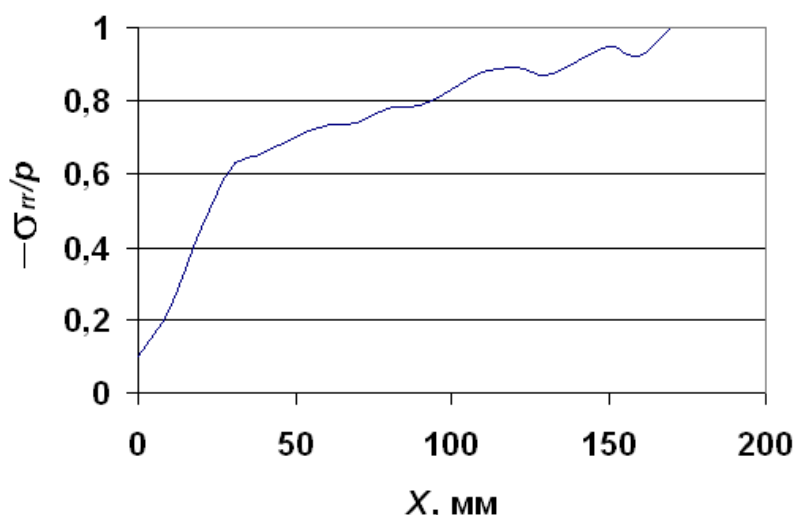


Рис. 5 Эюра распределения относительного радиального напряжения, действующего на поверхность иглы вдоль координаты X , отсчитываемой от сечения выхода металла из матрицы

намного больше величины напряжений трения и при оценке эквивалентного напряжения вклад напряжений сжатия окажется большим.

Для оценки напряжений на игле поставлена краевая задача прессования трубной заготовки. Задача решалась методом конечных элементов с помощью программного модуля РАПИД –2Д. Одна из главных целей, сформулированных в постановке задачи, – определение характера распределения напряжений

нормальных по отношению к боковой поверхности иглы. Распределение

радиальных напряжений, действующих на поверхности иглы и отнесенных к давлению прессования, показано на рис.5. Для оценки радиальных напряжений, действующих при прессовании на стенки контейнера, иногда прибегают к понятию коэффициента бокового давления, который показывает, во сколько раз радиальные напряжения оказываются меньше осевых, иногда в качестве осевого напряжения используют давление прессования p .

Осевое напряжение σ_{zzi} возникающее от действия напряжений трения на поверхности иглы может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_{zzi} = \frac{4}{D_{\text{и}}} \int_0^{L_{\sigma}} \sigma_{rzi}(z) dz, \quad (1)$$

где σ_{zzi} – осевое напряжение; $D_{\text{и}}$ – диаметр иглы; σ_{rzi} – касательное напряжение.

В результате расчета методом конечных элементов выявлено, что вблизи пресс-шайбы, в отличие от окрестностей матрицы, радиальные, тангенциальные и осевые напряжения в деформируемом металле практически совпадают. Радиальные напряжения σ_{rri} и тангенциальные напряжения $\sigma_{\phi\phi i}$, создаваемые в игле, равны радиальным σ_{rr} и тангенциальным $\sigma_{\phi\phi}$ напряжениям, действующим со стороны деформируемого металла. Поэтому можно считать, что $\sigma_{rri} = \sigma_{\phi\phi i} = -p$.

Из четвертого условия прочности, известного из теории упругости, следует

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2]} < [\sigma], \quad (2)$$

где σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} , $[\sigma]$ – главные напряжения и допускаемое напряжение соответственно. Допустим, что напряжения σ_{rri} , $\sigma_{\phi\phi i}$, σ_{zzi} являются главными. Тогда последнее условие преобразуется к виду

$$|\sigma_{zzi} + p| < [\sigma] \quad (3)$$

$$\text{или} \quad \left| \frac{4}{D_{\text{и}}} \int_0^{L_{\sigma}} \sigma_{rz}(z) dz + p \right| < [\sigma] \quad (4)$$

Вид функции $\sigma_{rz}(z)$ зависит от условий прессования. Значения σ_{rz} в направлении от прессшайбы к матрице могут уменьшаться, если в этом направлении происходят значительный разогрев металла и связанное с этим уменьшение сопротивления деформации, но могут и увеличиваться по двум причинам:

- если разогрев незначителен, или даже происходит отдача тепла в сторону более холодной матрицы;
- если металл подвергается значительной степенной и скоростной нагартовке.

В частном случае $\sigma_{rz} = \text{const}$. Тогда формула (4) упрощается:

$$\left| \frac{4}{D_{\text{и}}} \sigma_{rz} L_{\sigma} + p \right| < [\sigma] \quad (5)$$

где $D_{и}$ – диаметр иглы; σ_{tz} – касательное напряжение; L_{σ} – длина контакта металла с иглой в зоне пластической деформации; p – давление прессования; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение.

Представленная в более общем виде формула (5) позволяет учесть влияние характера распределения контактных напряжений трения на работоспособность иглы прессовой установки. В известной формуле перед величиной p приведен коэффициент 0,6, который может иметь место, но только при рассмотрении зоны металла вблизи матрицы. Тем самым в известной методике занижается уровень действующих на иглу напряжений. Это позволяет объяснить довольно частые случаи обрыва игл при прессовании в производственной практике.

В разделе 4.2 на основе представлений о течении вязкой жидкости выполнена оценка поведения смазки при ее нанесении на иглу и при прессовании. Показана неоднородность распределения смазки на контактных поверхностях, которая может приводить к неоднородности трения и механических свойств пресс-изделия.

В разделе 4.3 на основе решения задачи прессования методом конечных

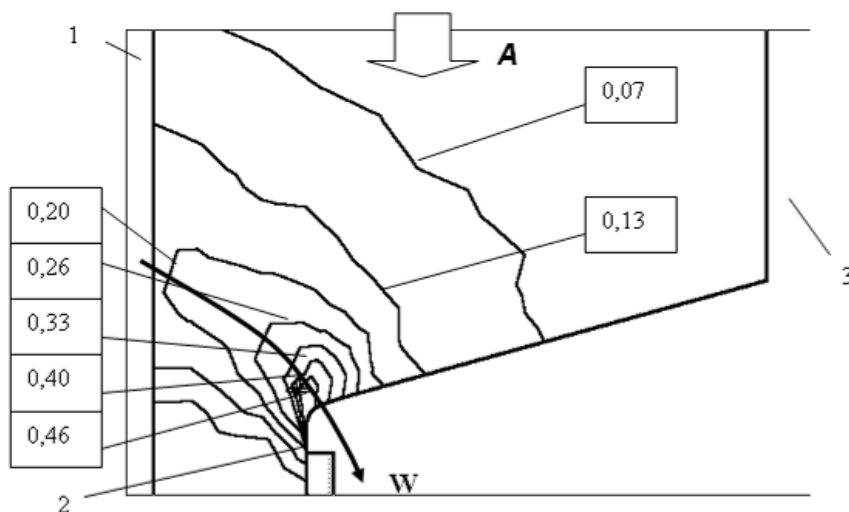


Рис. 6. Схема к определению контура распределения скоростей деформации(числа в таблице): 1 - поверхность иглы; 2 – калибрующий пояс матрицы; 3 – стенка контейнера; стрелка A – направление прессования; стрелка W – направление повышения скорости деформации

элементов установлено неравномерное распределение скоростей деформации между иглой и формообразующей поверхностью матрицы (рис.6). Выявлено существование зоны повышенных скоростей деформации вблизи наружной поверхности готовой трубы.

Выполнены измерения механических свойств алюминиевого сплава внутреннего и внешнего контуров трубы, отпрессованной в промышленных условиях. Выполнена математическая обработка результатов измерений, которая показала статистически значимое снижение характеристик на наружном контуре, что объяснено эффектом повышения скорости деформации, снижением значения

температуры начала рекристаллизации и частичной потере эффекта структурного упрочнения.

В разделе 4.4 предложена новая конструкция прессовой иглы, малочувствительная к изменению температуры. Иглы любого поперечного сечения обладают недостатком, заключающимся в изменении их размеров при нагреве и охлаждении за счет процессов термического расширения и сжатия. Вслед за размерами игл изменяются размеры поперечного сечения полостей в прессуемых заготовках.

Игла для прессования металлических полых заготовок состоит из цилиндрического стержня 1 (рис.7) диаметром D_n с рабочим и опорным торцом, имеющего переменный диаметр по длине и продольную несквозную полость, расположенную со стороны рабочего торца. В полости закреплен наконечник 2, имеющий резьбовую нарезку, с помощью которой он соединен со стенкой полости цилиндрического стержня 1, изготовленного из стали аустенитного класса 20X12ВНМФ, имеющей коэффициент термического расширения $11 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

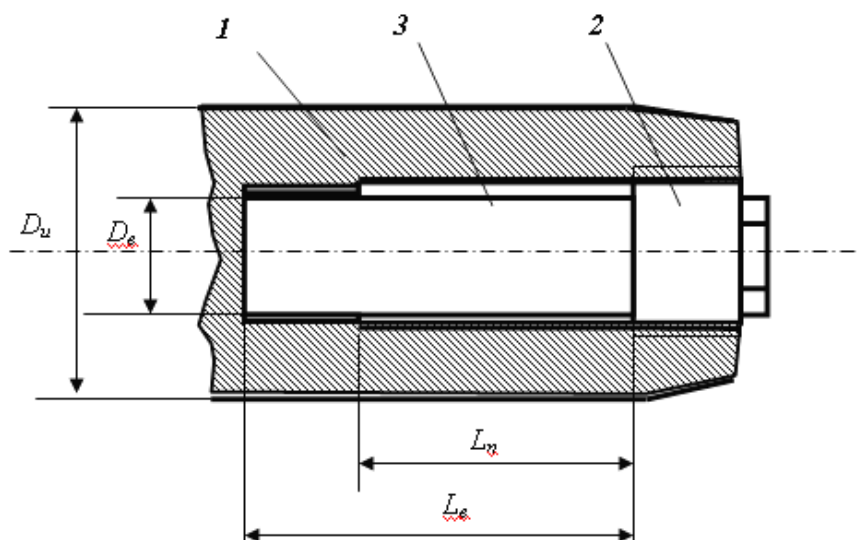


Рис. 7. Схема усовершенствованной иглы: 1 — цилиндрический стержень (игла); 2 — наконечник; 3 — вставка

В продольной полости расположена с боковым зазором цилиндрическая вставка 3 диаметром $D_в=40 \text{ мм}$ и длиной $L_в=300 \text{ мм}$, упирающаяся одним торцом в наконечник, а другим торцом на дно полости. Цилиндрическая вставка выполнена из стали 40X15Н7Г7Ф2МС, имеющей коэффициент термического расширения $19,1 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, что на 74 % выше КТР стали 20X12ВНМФ.

При нагреве иглы до температуры прессования происходит изменение ее размеров за счет температурного расширения. В том числе изменяется наружный диаметр цилиндрического стержня 1. При нагреве иглы одновременно прогревается цилиндрическая вставка, изготовленная из стали 40X15Н7Г7Ф2МС. Вследствие нагрева длина этой вставки увеличивается, длина полости тоже увеличивается, однако за счет разницы коэффициентов термического расширения длин вставки увеличиться на большую величину.

Поскольку вставка упирается в наконечник, а тот закреплен в стенке цилиндрического стержня, то удлинение вставки вызывает увеличение длины стенки цилиндрического стержня в упругой области. При этом в соответствии с

условием постоянства объема уменьшается диаметр цилиндрического стержня, т.е. компенсируется его увеличение, связанное с тепловым расширением.

Методом конечных элементов выполнены расчеты изменения формы стержня описанной конфигурации при условии перемещения правого торца стержня. Расчеты показали уменьшение колебания размеров иглы при ее термоциклировании на 31 %. Необходимое поддержание точности будет наблюдаться независимо от температуры нагрева инструмента, поскольку температурная компенсация размеров осуществляется в одном и том же устройстве и в одних и тех же условиях. Дополнительно к описанному техническому решению разработаны две конструкции сборки прессового инструмента на уровне полезных моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении исследования получены следующие результаты:

1. Установлено, что температурное поле крупных прессовых игл циклически изменяется в процессе прессования и это изменение значимым образом сказывается на точности прессованной продукции и механических свойствах.

2. С помощью аналитического решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности и постановкой промышленного эксперимента показано, что нагрев крупных прессовых игл за счет конвективного обмена от тепла контейнера является медленным и малоэффективным.

3. Сконструирована, изготовлена и опробована экспериментальная оснастка для измерения температурного поля прессовой иглы в промышленных условиях прессования. Получены опытные данные о распределении температур иглы в промышленных условиях, сравнение расчетных и опытных данных показало хорошую сходимость.

4. С помощью решения методом конечных элементов краевой задачи распрессовки, показано, что стенки полого слитка на этой стадии подвергаются деформациям изгиба, а поверхности могут не являться контактными по отношению к прессовому инструменту, что локально затрудняет теплоотвод и объясняет не монотонность изменения температур.

5. Определено температурное поле прессовой иглы при конвективном теплообмене во время выполнения вспомогательных операций, в результате чего установлено относительно малое влияние этого периода времени на изменение температурного поля.

6. Изучено влияние термоупругого изменения размеров иглы на точность размеров прессованной трубы, в результате чего показано, что колебания размеров значимы и соизмеримы с пределами допусков, задаваемыми нормативными документами на продукцию.

7. Уточнена методика оценки напряженного состояния иглы, при этом показано, что это уточнение приводит к достижению более высоких эквивалентных напряжений, это позволяет объяснить случаи обрыва игл во время прессования.

8. На основе представлений о течении вязкой жидкости выполнена оценка поведения смазки при ее нанесении на иглу и при прессовании. Показана неоднородность распределения смазки на контактных поверхностях.

9. На основе решения методом конечных элементов задачи прессования установлено неравномерное распределение скоростей деформации между иглой и формообразующей поверхностью матрицы. Выявлено существование зоны повышенных скоростей деформации вблизи наружной поверхности готовой трубы.

10. Выполнены измерения механических свойств алюминиевого сплава внутреннего и внешнего контуров трубы, отпрессованной в промышленных условиях. Выполнена математическая обработка результатов измерений, которая показала статистически значимое снижение характеристик на наружном контуре, что объяснено эффектом повышения скорости деформации, снижением значения температуры начала рекристаллизации и частичной потере эффекта структурного упрочнения.

11. Предложена новая конструкция прессовой иглы, малочувствительная к изменению температуры. Выполнены расчеты методом конечных элементов, которые показали уменьшение колебания размеров иглы при ее термоциклировании.

Результаты исследований опубликованы в следующих работах:

1. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Влияние тепловых процессов прессования на качество прессованных трубных заготовок из алюминия и его сплавов // Сб.тез. докл. X науч.-практ. конф. «Алюминий Урала-2005», Краснотурьинск: БАЗ, 2005. С.157.
2. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Исследование анизотропии и неоднородности распределения механических свойств прессованных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов // Сб.ст. VII отчетной конф. молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ УПИ, Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2005, Ч.1. С.127.
3. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Проблемы применения игл при прессовании трубных заготовок // Сб.ст. VII межд. науч.-техн. конф. «Пластична деформація металів», Днепропетровск: Системні технології, 2005, Т.8. С.529-532.
4. Дегтярева О.Ф. Исследование факторов, влияющих при прессовании на формирование размеров внутреннего диаметра пресс-изделий из алюминиевых сплавов // Сб. тез. докл. II науч.-техн. конф. молодых специалистов пром. предприятий стран СНГ, Каменск-Уральский: ОАО«КУМЗ», 2005. С.11.
5. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Термоупругое формоизменение иглы при прессовании // Сб.тр. межд. науч.-техн. конф. «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов», Санкт-Петербург, 2005г.С.368-370.

6. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Термоупругое изменение размеров иглы при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. 2005. № 8. С.9-12 **(рецензируемое издание из перечня ВАК)**.
7. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Упругое формоизменение иглы гидравлического пресса при термоциклировании // Сб.ст. VIII отчетной конф. мол. уч. ГОУ ВПО УГТУ УПИ, Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2005. Ч.1. С.294.
8. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Термоупругие явления при эксплуатации прессовых игл // Вестник УГТУ - УПИ №13 (65). 2005. С. 191-193.
9. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Напряженное состояние иглы при прессовании трубных заготовок // Особенности обработки и применения изделий из тяжелых цветных металлов. Материалы Межд. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. С.298-306.
10. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф., Тулюпа О.А. Расчет температурного поля иглы прессовой установки // Сб.ст. IX отчетной конф. мол. уч. ГОУ ВПО УГТУ УПИ, Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2006. Ч.1. С.15.
11. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Влияние стадии распрессовки полого слитка из алюминиевого сплава на параметры последующего прессования // Кузнечно-штамповочное производство. 2007. №7. С.37-42 **(рецензируемое издание из перечня ВАК)**.
12. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Влияние скорости деформации на эффект структурного упрочнения прессованных труб из алюминиевого сплава 6061 // Технология легких сплавов, 2007. №4. С.123-127 **(рецензируемое издание из перечня ВАК)**.
13. Патент РФ № 2290272 на изобретение. Игла для горячего прессования металлических полых заготовок / Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярева. // Оpubл. 27.12.06.
14. Патент РФ № 65795 на полезную модель. Инструмент для горячего прессования металлических полых заготовок / Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярева. // Оpubл. 27.08.07.
15. Патент РФ № 67485 на полезную модель. Игла для горячего прессования металлических полых заготовок / Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярева. // Оpubл. 27.10.07.